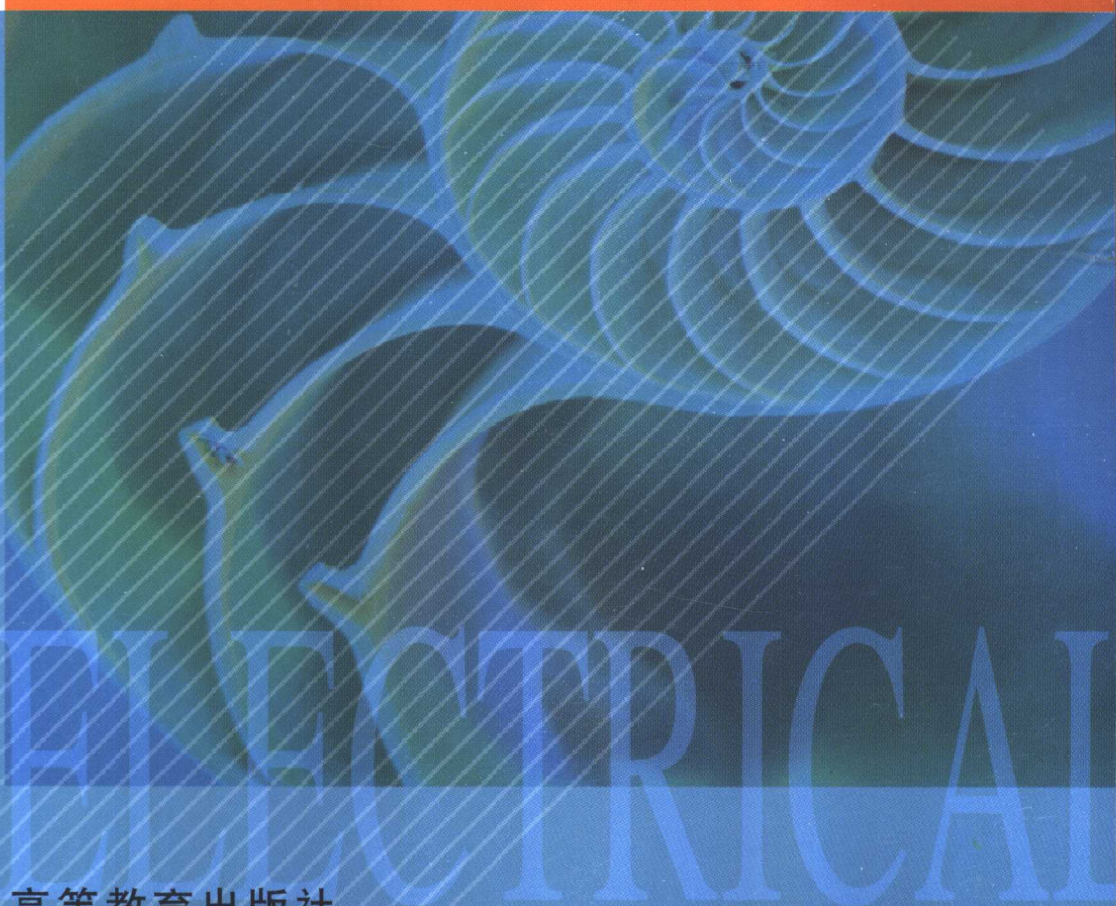


● 高等学校教材

电工学实验

(第三版)

王建华 吴道悌 主编



ELECTRICAL

高等教育出版社

内容简介

为培养适应我国 21 世纪发展需要的工程技术人才,反映我国当前在电工、电子实验教学上的改革思路 and 教学水平,本书在第二版的基础上,及时吸收了工科高校多年来实验教学改革研究成果,对其内容作了较大的调整和修改,以基本技能训练、创新能力培养为主线组织内容。除继续保持第二版实验内容具有应用性、先进性、趣味性和综合性的特点外,本版基础实验和综合设计性实验两部分内容都有较大的修改和充实,增加了变频器的使用、Pspice 仿真实验、可编程逻辑器件(PLD)应用的内容等。

本书共分 5 章,包括电工学实验基本知识;常用电工电子测量仪器、仪表的使用方法;仿真软件、PLC 及变频器简介;电工学基础实验;电工学综合设计性实验。

本书可与秦曾煌主编的《电工学》(第五版)及其他电工学教材配套使用,也可作为电工、电子实验独立设课的教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验(第三版)/王建华,吴道悌主编. —3 版.

—北京:高等教育出版社,2003.9

ISBN 7-04-013095-5

I. 电... II. ①王... ②吴... III. 电工学-实验-高等学校-教学参考资料 IV. TM1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 048605 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899
经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 中国农业出版社印刷厂

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

开 本 787×1092 1/16
印 张 16.75
字 数 400 000

版 次 1985 年 6 月第 1 版
2003 年 9 月第 3 版
印 次 2003 年 9 月第 1 次印刷
定 价 19.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第三版前言

《电工学实验》第二版是根据国家教育委员会颁发的高等工业学校“电工技术(电工学 I)”、“电子技术(电工学 II)”及“电路和电子技术”三门课程的教学基本要求(修订稿)编写的,于 1995 年出版。

为培养适应我国 21 世纪国民经济发展需要的工程技术人才,反映我国当前在电工、电子实验教学体系、内容和方法上的改革思路和教学水平,在不削弱传统的工程实验教学的情况下,力求使学生更多地了解现代电子设计自动化(EDA)技术,使电工、电子实验教学的目标定位在系统地、科学地培养学生的实际动手能力、理论联系实际与创新的能力上。本书及时吸收了工科高校多年来实验教学改革研究成果,适应电工、电子实验单独设课的需要,在第二版的基础上,对其内容作了较大的调整和修改。主要有以下几点:

1. 作为单独设课的一本教材,教材体系做了较大的调整,本书共分 5 章,包括电工学实验基本知识;常用电工电子测量仪器、仪表的使用方法;仿真软件、PLC 及变频器简介;电工学基础实验;电工学综合设计性实验。本版与第二版相比较,实验数量由原来的 35 个减少到 30 个,但实验内容有较大的修改和充实,增加了许多反映新技术的内容,如增加了变频器的使用、Pspice 仿真实验、可编程逻辑器件(PLD)应用的内容等。考虑到教材的连续性,本书大部分实验在原有实验的基础上进行了扩充,对实验中的有关知识点都作了介绍,基础部分的实验中也有设计性的内容,所以总体上每个实验的内容都较多,各校可根据具体情况选用。

2. 增加了第 3 章“仿真软件、PLC 及变频器简介”。该章包括电子线路 Pspice 辅助分析与设计、可编程逻辑器件的数字系统设计软件 ispEXPERT 使用方法简介、OMRON 可编程序控制器的编程指令和编程器的功能与操作、VFD 型变频器介绍。电子线路 Pspice 辅助分析与设计软件是面向电子线路和集成电路的分析软件,几乎能够分析所有的集总参数电路。在系统可编程 ispEXPERT 软件支持所有 Lattice 公司的 ispLSI 器件、pLSI 器件、ispGDS 器件、ispGAL 器件,并能实现系统仿真。通过本章的学习,使学生更多地了解现代电子设计的新工具、新方法和新装置。

3. 本版基础实验和综合设计性实验两部分内容都有较大的修改和充实,既注意训练学生的实验技能,培养他们独立组织和进行实验的能力,又充实了许多实用性、趣味性和综合性的实验。除保留原有的“抢答器”、“数字钟”、“洗衣机自动控制的模拟电路”等实验并做了修改外,又增加了“音乐喷泉”、“数字温度计”、“直流电机转速调节”等实验。这些将电工与电子技术结合、模拟与数字电路混合的设计课题,将有利于学生拓宽知识面,提高综合性应用电路设计的能力,提高学生对电工电子实验的兴趣。

4. 对常用电子仪器的应用部分作了较大的改动,从附录改为一章内容,删除了比较陈旧的仪器、设备,结合我校电工电子教学基地的新设备,增加了 UT70C 型数字万用表,DF2173B 型交流毫伏表,直流稳定电源和虚拟仪器 LINK 仪器公司 DSO2902 数字示波器等,在第 1 章中,除原有的电工学实验须知和常用电子元器件的识别与简单测试外,增加了基本电量的测量、实验电路

调试和常见故障的分析与检查的内容。

本书可与秦曾煌主编的《电工学》(第五版)及其他电工学教材配套使用,也可作为电工、电子实验独立设课的教材,面向机械、能源、动力、材料、化工、建筑、管理类专业本、专科学生开课。

参加本版修订工作的有王建华、吴道悌、唐胜安、刘晓晖、李瑞程、何文林。吴道悌编写了第1章、第2章的1~6节及第4章的实验1~3、5~7;唐胜安编写了第2章的第7节,第3章的第2节及第4章的实验20,第5章的实验24、25、27~29;刘晓晖编写了第4章的实验15及第5章的实验26、30;李瑞程编写了第3章的第1节,第4章的实验17~19;何文林编写了第3章的第4节,第4章的实验4A、10,第5章的实验22;王建华编写了第3章的第3节及第4章的实验4B、8、9、11~14、16,第5章的实验21、23;王建华、吴道悌任主编,负责全书的统稿与定稿工作。

本书承上海交通大学朱承高教授认真仔细审阅,对全书的体系结构、内容等方面给予了悉心指导,提出许多宝贵意见和修改建议。2002年6月电工课程教材建设会议与会老师对编写大纲进行了详细审阅,提出了许多有指导意义的建议。谨对上述各位老师表示衷心感谢。

本书列为西安交通大学“十五”本科生规划教材,得到了西安交通大学教务处的关怀和大力支持,在本书出版之际,谨致以最诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,衷心欢迎读者,特别是使用本书的教师和同学们批评、指正,提出改进意见,以便今后修订提高。

编 者

2003年3月于西安交通大学

目 录

第 1 章 电工学实验基本知识	1
1.1 电工学实验须知	1
1.1.1 实验课目的和要求	1
1.1.2 实验课几个阶段的具体要求	1
1.1.3 实验室安全用电规则	2
1.2 测量误差及测量结果的处理	2
1.2.1 测量误差	2
1.2.2 误差的表示方法	3
1.2.3 测量结果的处理	4
1.3 基本电量的测量	6
1.3.1 电压、电流和功率的测量	6
1.3.2 时间、频率和相位的测量	9
1.3.3 放大电路输入阻抗和输出阻抗的测量	11
1.3.4 频率特性的测量	12
1.4 电子技术实验电路调试和常见故障的分析与检查	14
1.4.1 电子技术实验电路调试	14
1.4.2 常见故障的分析与检查	15
1.4.3 电子电路中的共地	16
1.5 常用电子元器件的识别与简单测试	18
1.5.1 电阻器、电容器、电感器的识别与简单测试	18
1.5.2 半导体二极管、晶体管的识别与简单测试	24
1.5.3 集成电路的识别	29
第 2 章 常用电工电子测量仪器、仪表的使用方法	34
2.1 万用表	34
2.1.1 MF-30 型万用表	34
2.1.2 UT70C 型数字万用表	37
2.2 DF2173B 型交流毫伏表	42
2.3 XD-22 型低频信号发生器	44
2.4 EE1641B 型函数信号发生器/计数器	46
2.5 DF1701SB/SC 系列直流稳定电源	49
2.6 COS5020 型电子示波器	53
2.7 DS02902 虚拟仪器	60
2.7.1 概述	60
2.7.2 DS02902 的主要技术指标	60

2.7.3	示波器的使用方法	61
第3章	仿真软件、PLC 及变频器简介	67
3.1	计算机辅助分析软件 Pspice 简介	67
3.1.1	Pspice A/D 的基本功能	67
3.1.2	电路模拟过程	69
3.1.3	电路图绘制软件 Capture	69
3.1.4	特性分析类型确定和参数设定	72
3.1.5	Pspice 的应用举例	75
3.2	ispEXPERT 使用方法简介	78
3.2.1	概述	78
3.2.2	原理图输入	78
3.2.3	设计电路的下载	83
3.2.4	ABEL-HDL 输入方式	85
3.2.5	硬件描述语言 ABEL-HDL 简介	85
3.3	OMRON C 系列可编程控制器简介	93
3.3.1	可编程控制器的组成和编程元件	93
3.3.2	OMRON C 系列 PLC 的基本指令	96
3.3.3	编程器的功能与操作	106
3.4	VFD 型变频器介绍	111
3.4.1	变频器的型号与命名含义	111
3.4.2	变频器的操作	111
3.4.3	接线端子使用说明	112
3.4.4	主要参数简介	115
第4章	电工学基础实验	118
4.1	电工技术基础实验	118
实验1	直流电路中的基本测量——电源外特性及等效变换	119
实验2	一阶 RC 电路的时域响应	123
实验3	电感性负载电路及功率因数的提高	127
实验4A	交流电路的频率特性	131
实验4B	交流电路的频率特性仿真实验	136
实验5	三相交流电路	140
实验6	单相变压器及单相异步电动机的使用	143
实验7	三相异步电动机的继电接触器控制	147
实验8	可编程控制器(PLC)的使用	151
实验9	计数器、移位寄存器指令练习	156
实验10	变频器的使用	160
4.2	模拟电子技术基础实验	165
实验11A	单管低频电压放大器	166
实验11B	单管低频电压放大器仿真实验	169
实验12	集成运算放大器的基本应用(一)——基本放大和运算电路	172
实验13	集成运算放大器的基本应用(二)——信号发生电路	176

实验 14	集成功率放大器	180
实验 15	直流稳压电源	182
实验 16	晶闸管的应用	187
4.3	数字电子技术基础实验	191
实验 17	集成逻辑门电路及其应用	192
实验 18	触发器、计数器及其应用	196
实验 19	555 集成定时器及其应用	204
实验 20	D/A、A/D 转换器及其应用	207
第 5 章	电工学综合设计性实验	213
实验 21	可编程控制器的应用	213
实验 22	电动机的变频控制——音乐喷泉	217
实验 23	集成运算放大器的应用——有源滤波器(仿真实验)	219
实验 24	集成组合逻辑电路应用——抢答器	223
实验 25	集成时序逻辑电路应用——数字钟	227
实验 26	数字温度计	232
实验 27	洗衣机自动控制的模拟电路	238
实验 28	可编程逻辑器件(PLD)应用(一)——组合逻辑电路的设计	242
实验 29	可编程逻辑器件(PLD)应用(二)——时序逻辑电路的设计	247
实验 30	直流电机转速调节实验	250
参考文献		256

第1章 电工学实验基本知识

1.1 电工学实验须知

1.1.1 实验课目的和要求

电工学实验是电工技术(电工学Ⅰ)和电子技术(电工学Ⅱ)的实践性很强的后续课程。实验的目的不仅要帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是要训练学生的实验技能,使学生学会独立进行实验,树立工程实际观点和严谨的科学作风。

对学生实验技能训练的具体要求是:

- ① 能正确选择、使用常用的电工仪表、电工设备及常用的电子仪器。
- ② 能独立按电路图正确接线和查线。
- ③ 学习查阅手册,初步掌握常用电子元器件使用的基本知识。
- ④ 能准确读取实验数据,观察实验现象,测绘波形曲线;学习查找和排除简单的故障。
- ⑤ 能整理分析实验数据,独立写出内容完整、条理清楚和整洁的实验报告。

1.1.2 实验课几个阶段的具体要求

为了培养学生分析问题与解决问题的能力,充分发挥他们的主动性,提高实验课的质量,对学生在电工学实验的课前预习、实验进行和课后总结三个阶段提出以下具体要求。

1. 课前预习阶段

- ① 通过阅读实验教材及有关参考书,思考预习要求中的思考题,明确实验目的,理解有关原理,熟悉实验电路和内容,了解或拟定主要实验步骤。
- ② 列出所使用的仪器设备、仪表和元器件。
- ③ 列出测量数据的表格和要观察的现象,并初步估算或分析实验结果,了解实验中的注意事项。

2. 实验进行阶段

- ① 进实验室后要自觉遵守实验室规则。
- ② 实验前先清点和熟悉仪器、设备的性能和使用方法,按实验内容合理布置实验现场,并按实验方案连接实验电路。接线完毕后,要认真复查,确信无误后,经教师检查同意,方可接通电源进行实验。
- ③ 认真记录实验数据、波形,并分析是否正确。若发生故障,应尽量独立分析和排除,并记录排除故障的方法。

④ 实验完毕,原始记录应交指导教师审阅签字,经教师同意后才能拆除线路,将仪器整理复原。

⑤ 实验过程中如果发生事故应立即切断电源,保持现场,报告指导教师。

3. 课后总结阶段

做完实验后,应及时处理实验数据,根据要求一律用学校规定的实验报告纸撰写实验报告。实验报告要求文字通顺、简练,数据、图表齐全、规范正确,书写整洁。实验报告的具体内容包括:

① 实验目的。

② 实验电路图及主要仪器设备的型号、规格。

③ 实验教材要求课前完成的预习内容。

④ 认真整理和处理实验原始数据,用坐标纸描绘波形或画出曲线。

⑤ 按实验教材要求完成总结、问题讨论和本次实验的心得体会以及对改进实验的建议。记录产生故障的情况,说明故障排除的方法。

1.1.3 实验室安全用电规则

为了做好实验,确保人身和设备的安全,在做实验时,必须严格遵守下列安全用电规则:

① 接线、改接、拆线都必须在切断电源的情况下进行,即先接线后通电,先断电后拆线。

② 接线完毕后,要认真复查,确定无误后,再通知同组同学,方可接通电源。

③ 在电路通电情况下,人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线或连接点等裸露的带电部位。万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。

④ 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现有超量程、过热、异味、异声、冒烟、火花等,应立即切断电源,并请教师检查。

⑤ 室内仪器设备不能任意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备,未经教师允许不得动用。没有看懂仪表、仪器、设备及元器件的使用方法前,不要贸然使用。若损坏仪器设备,必须立即报告教师,作书面检查,如为责任事故要酌情赔偿。

⑥ 注意仪器仪表允许的安全电压(或电流),切勿超过。当被测量的大小未知时,应从仪表的最大量程开始测试,然后逐渐减小量程。

1.2 测量误差及测量结果的处理

1.2.1 测量误差

在实验中必然要用各种仪器仪表进行测量,但由于测量仪器的不准确、测量方法的不完善以及测量环境、测量人员本身等各种因素,会使实验中测得的值和被测量的真值之间造成差异,即产生测量误差。人们进行测量是为了获得尽可能接近真值的测量结果,如果测量误差超过一定限度,测量工作及由测量结果所得出的结论就失去了意义,因此为了得到要求的测量精度和可靠的测试结果,需要认识测量误差的规律,合理选择测量仪器和测量方法,力求减小测量误差。

根据误差的性质可分为系统误差、随机误差和粗差三类:

1. 系统误差

在相同条件下,多次测量同一量时,所出现误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时,与某一个或几个因素成函数关系的有规律的误差,称为系统误差。它产生的主要原因是仪器仪表制造、安装或使用方法不正确,也可能是测量人员一些不良的读数习惯等。

系统误差可以通过分析研究,在技术上采取一定措施来减小和消除,但实际测量中,系统误差的发现和消除都不容易做到。

2. 随机误差

相同条件下,重复测量某一量时,每次测量的数据或大或小、或正或负、不能预知的误差,称为随机误差。它是由很多复杂因素,如电磁场的微变、空气扰动、气压及温度、湿度的变化等对测量值的综合影响所造成的。

单次测量的随机误差没有规律,但多次测量的总体服从统计规律,通过对测量数据的统计处理,可以在理论上估计随机误差对测量结果的影响。

3. 粗差

粗差是一种明显地歪曲了测量结果的误差,如测错、读错、记错以及在未达到预定要求的实验条件下匆忙做实验,都会引起粗差。含有粗差的测量值称为异常值,应予以剔除。

正确处理测量中的异常数据是测量实践中经常碰到的问题,除了采用能分析出物理或工程技术原因的物理判别法以外,通常用统计学的异常数据处理法则来判别。

1.2.2 误差的表示方法

1. 绝对误差

绝对误差是指测量值 x 与被测量真值 A_0 之差,由于真值一般是未知的,所以在实际应用时,常用实际值 A (通常用高一级标准仪器的示值作为实际值) 来代表真值。绝对误差用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A \quad (1.1)$$

绝对误差是具有大小、正负和量纲的数值。

绝对误差的表示方法可以体现出测量值与被测量实际值之间的偏离程度和方向,但不能确切地反映出测量的准确程度。例如,测量两个电阻,其中 $R_1 = 10 \Omega$, 误差 $\Delta R_1 = 0.1 \Omega$; $R_2 = 1000 \Omega$, 误差 $\Delta R_2 = 1 \Omega$, 尽管 $\Delta R_1 < \Delta R_2$, 但由于 $\Delta R_1 = 0.1 \Omega$, 相对于 10Ω 来讲是 1% , 而 $\Delta R_2 = 1 \Omega$, 相对于 1000Ω 来讲是 0.1% , 所以结论是 R_2 的测量比 R_1 的测量更准确, 因此要引出相对误差的概念。

2. 相对误差

相对误差 γ 是绝对误差 Δx 与被测量真值 A_0 的比值, 因测量值与真值接近, 所以也可以近似用绝对误差和测量值 x 的比值作为相对误差, 通常用百分数表示:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1.2)$$

由于绝对误差可能为正值或负值, 所以相对误差也可能出现正或负值。

3. 引用误差

通常在多挡和连续刻度的仪器仪表中, 可测范围不是一个点, 而是一个量程, 若按式 (1.2)

计算很繁琐,而且在仪表标尺的不同部位,其相对误差是不相同的,所以为了计算和划分准确度等级的方便,通常采用引用误差。引用误差是一种简化和实用方便的相对误差,其分母为常数,取仪器仪表中的满刻度值 x_m ,分子为绝对误差 Δx ,因此引用误差 γ_m 为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100 \% \quad (1.3)$$

仪表的准确度是按仪表的最大引用误差 $|\gamma_m|_{\max}$ 来划分等级的。目前,我国直读式电工测量仪表共分七级:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。前三级常用于精密测量或作其他仪表的校正,后四级作一般工程测量。

如果某仪表为 S 级,则说明该仪表的最大引用误差不超过 $S\%$,即 $|\gamma_m|_{\max} \leq S\%$ 但不能认为它在各刻度上的示值误差都具有 $S\%$ 的准确度。由式(1.2)和(1.3)可知,如果某电表为 S 级,满刻度值为 x_m ,测量点为 x ,则仪表在该测量点的最大相对误差 γ 可表示为

$$\gamma = \frac{x_m}{x} S \% \quad (1.4)$$

因 $x \leq x_m$,所以当 x 越接近 x_m 时,其测量准确度越高。在使用这类仪表测量时,应选择使指针尽可能接近于满刻度值的量程,一般最好能工作在不小于满刻度值 $2/3$ 以上的区域。

1.2.3 测量结果的处理

测量结果通常用数字或曲线图形表示,测量结果的处理就是要对测量数据进行计算、分析、整理和归纳,以得出正确的科学结论。

1. 测量结果的数字处理

由于在实验过程中不可避免地存在误差,所以测量结果一定是近似值,这就涉及如何用近似数恰当地表达测量结果的问题,亦即有效数字的问题。

有效数字是指从左边第一个非0数字算起,直到右边最后一位数字为止的所有各位数字。例如,375 k Ω ,2.50 mA,7.09 V,0.0436 MHz等都是三位有效数字。0.0436 MHz,可以写成43.6 kHz,但不能写成43 600 Hz,后者为五位有效数字,两者的意义不同,所以有效数字不能因选用的单位变化而改变。若用“10”的方幂来表示数据,则“10”的方幂前面的数字都是有效数字,如 30.40×10^3 Hz 它的有效数字是四位。测量中有效数字是几位,要视具体情况而定,但可以根据舍入规则保留有效数字为几位。关于有效数字的运算规则,在物理实验中已有介绍,这里不作复述。

2. 测量结果的列表处理。

列表处理就是将一组测量数据中的自变量、因变量的各个数值按一定的形式和顺序一一对列出来。一个完整的表格应包括表的序号、名称、项目(应用单位)、说明及数据。这种方法的优点是同一表格内可以同时表示几个变量的关系,数据便于比较,形式紧凑,而且简单易行。

3. 测量结果的曲线处理

测量结果除了常用数字表示外,还常用各种曲线表示。在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线比数字或公式表示更形象和直观,通过对曲线的形状、特性和变化趋势的分析研究,可以给我们许多启示,从而有利于得出正确的结论。要做出一条符合客观规律,反映真实情况的曲线,应注意以下几点:

① 合理选用坐标,最常用的是直角坐标,也可选用单对数、双对数等其他坐标系。横坐标代表自变量,纵坐标代表因变量。

② 合理选用坐标分度,标明坐标所代表的物理量和单位,纵、横坐标的比例不一定取得一样,如果坐标分度不合适,可能反映不出曲线变化的细微特征。例如测量电路的频率特性,由于频率变化范围很大,若用均匀分度的坐标,则低频部分被挤缩,低频特性变化规律不明显,此时就可将代表频率的横坐标取为对数坐标。

③ 合理选择测量点,并准确标记各测试点。测量点的多少,应根据曲线的具体形状而定,对于曲线变化平坦的部分,可少取测量点,而曲线变化较大的部分和某些重要的细节部分,应相对多取测量点,以免漏掉变化的过程。

④ 修匀曲线。由于测量过程中各种误差的影响,测得的数据将出现离散现象,如果将各测量点直接连起来,常常不是一条光滑的曲线(直线),而是一条不规则的波动曲线,如图 1.1 中虚线所示。可以运用误差理论,把因随机因素引起的曲线波动抹平,使之成为一条光滑均匀的曲线,这个过程称为曲线的修匀。

修匀曲线通常可以采用凭直觉法和分组平均法两种。当测量要求不高或测量点离散程度不大时,可用曲线板作出一条光滑的,基本上对称通过所有测量点的曲线,如图 1.1 中实线所示,称为凭直觉法。当测量点离散程度较大时,采用一种简单、可行的工程方法——分组平均法。这种方法是将各测量点分成若干组,每组含 2~4 个测量点,然后分别估取各组的几何重心,再将这些重心连接起来,画一条光滑的曲线,如图 1.2 所示。这条曲线由于进行了数据平均,在一定程度上减少了随机误差的影响,所以较为符合实际情况。

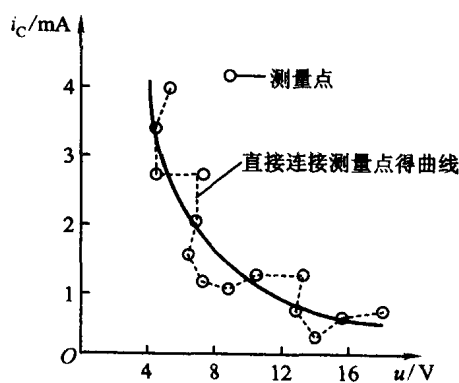


图 1.1 凭直觉法修匀曲线

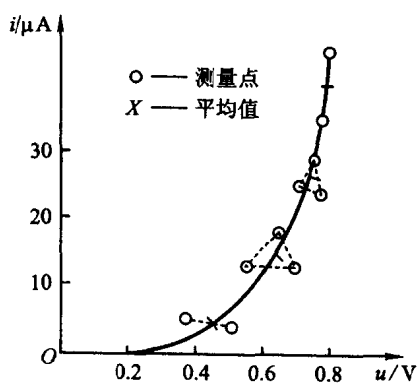


图 1.2 分组平均法修匀曲线

在精密测量和计算等要求较高的场合,可用最小二乘法修匀曲线,读者可参考有关文献,此处不作介绍。

1.3 基本电量的测量

1.3.1 电压、电流和功率的测量

1. 电工技术实验中电压、电流和功率的测量

(1) 电压的测量

通常测量直流电压用磁电式电压表,测量交流电压用电磁式电压表。测量交流直流电压都是把电压表直接并联于被测电路的两端。

测量交流高电压时,通常采用交流电压表经互感器并接于被测电路两端的方法,如图 1.3 所示。一般电压互感器二次侧电压设计为标准值 100 V,测量时只要把电压表的实际读数乘上互感器的变比,就是被测电压 U 。使用时要注意电压互感器二次绕组不能短接,并且其一端要接地。

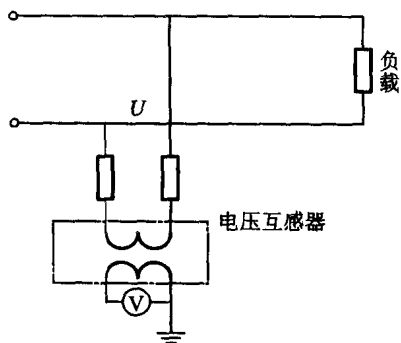


图 1.3 用电压互感器测量交流高电压

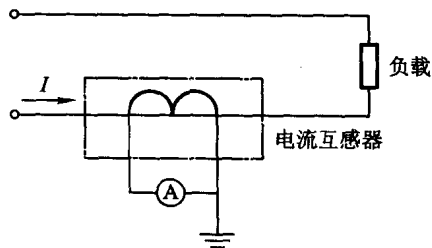


图 1.4 用电流互感器测交流大电流示意图

选择电压表时要考虑:测直流还是交流电压、量程范围和精度。使用直流电压表时还要注意“+”、“-”极性。

(2) 电流的测量

通常测量直流电流用磁电式电流表,测量交流电流用电磁式电流表。电流表与待测电流的负载直接串联,为使电路的工作不因接入电流表而受影响,电流表的内阻应尽可能小,切不可将电流表并联在被测电路中,以免烧毁电表。

测量交流大电流时,多采用电流互感器,其接线示意图如图 1.4 所示。电流互感器的一次绕组串入待测电路,二次绕组与电流表连接。切记电流互感器的二次绕组不得开路,否则在二次绕组两端将感应出数百甚至上千伏电压,危及人身安全,并损坏设备。通常电流互感器二次绕组额定电流为标准值 5 A,所以测量时只要把电流表的读数乘上互感器变流比就是被测电流 I 。

选择电流表时要考虑:测直流还是交流电流、量程范围和精度。对于直流电流表还须注意“+”、“-”极性,保证电流从标有“+”的接线端流入仪表。

(3) 功率的测量

① 直流功率的测量:直流功率的测量可以采用间接测量方法,即用直流电流表和直流电压表的测量值,根据公式 $P = U \cdot I$ 计算得到。图 1.5(a) 所示接法适用于负载电阻小(负载电流大)的功率测量;图 1.5(b) 所示接法适用于负载电阻大(负载电流小)的功率测量。

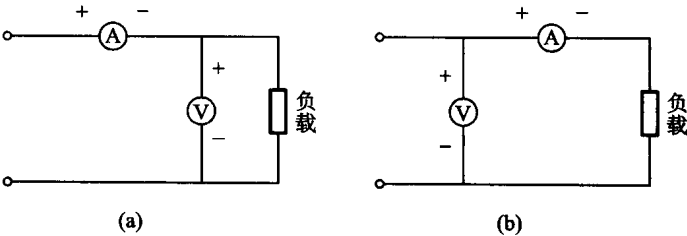


图 1.5 测量直流功率的两种情况

测量直流功率也可以采用电动式功率表(瓦特计)直接测出功率值。

② 交流有功功率的测量:交流电路中,通常选用电动式功率表测有功功率。电动式功率表的电流线圈与负载相串联,其电压线圈与负载相并联,两个线圈标有“*”的一端称为同名端,它们应接在电源的同一侧。

单相交流电路中,利用单相功率表测功率,如图 1.6 所示。在三相四线制交流电路中,利用三只单相功率表测各相功率,三相总功率为三个单相功率表之和,其接线如图 1.7 所示。三相三线制电路中有功功率的测量采用两表法,即利用两只单相功率表测三相三线制负载的总功率,其接线如图 1.8 所示,两表法测得的三相总功率为两个单相功率表读数的代数和,而其中任意一个功率表的读数是没

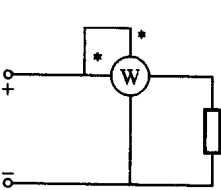


图 1.6 测量单相交流功率接线图

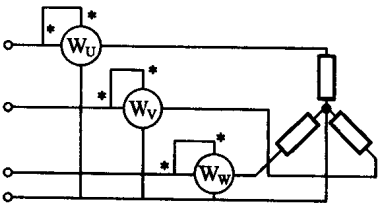


图 1.7 三表法测量三相四线制功率接线图

功率表的量程不是按照所测功率值来选,而是根据流过功率表电流线圈的电流和电压线圈两端承受的电压来选择其电流和电压线圈相应的量程。功率表读数时也要根据所选用的电流和电压线圈量程乘以适当的倍率。

2. 电子电路中电压的测量

电压是电子电路中基本参数之一,电流、功率、增益、频率特性等物理量都可以通过测量电压来间接得到,许多电子测量仪器也都用电压作指示,因此电压测量是许多电参数测量的基础。

电子电路中的电压有频率范围宽(直流至数百兆赫兹)、存在非正弦电压、交直流电压并存和电压范围宽(几微伏到千伏以上)等特点,并且由于电子电路一般是高阻抗电路,所以要求测

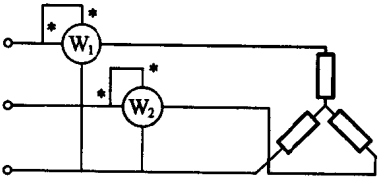


图 1.8 两表法测量三相负载功率接线图

量仪器有高输入阻抗,以减小它对被测电路的影响。

在电压测量中,可根据被测电压的性质、工作频率、波形、被测电路阻抗大小、测量精度等选择测量仪表。

(1) 直流电压的测量

用数字万用表的直流电压挡测直流电压,可直接显示被测直流电压的数值和极性,测量时尽可能使电压表的量程与被测的电压接近,以提高数据的有效位数。一般数字万用表直流电压挡的输入电阻可达 $10\text{ M}\Omega$ 以上,所以对被测电路的影响较小。

模拟式万用表直流电压挡的输入电阻一般不太大,而且各量程挡的内阻不同,因此只适用于被测电路等效内阻很小或信号源内阻很小的情况。

用示波器也可以测直流电压,但首先应将示波器垂直偏转灵敏度的微调置校准位置,否则电压读数不准确;同时将输入耦合开关置 GND 挡,并将时基线与屏幕的某刻度线重合作为参考零电压值,然后将输入耦合开关置 DC 挡,这时输入信号后,时基线即上移或下移,根据偏移值 [div (格)] 及偏移方向可算出被测直流电压值和极性:

$$\text{直流电压值} = \text{偏移值 (div)} \times \text{通道灵敏度 (V/div)}$$

(2) 交流电压的测量

① 交流电压表测交流电压:交流电压表分模拟式和数字式两大类,它们都是先将交流电压经过检波器转换成直流电压后测量。

模拟式万用表的交流电压挡内阻较低,且各量程挡的内阻不同,测量时要注意仪表内阻对被测电路的影响;此外其频率范围较窄,一般只能测频率在 1 kHz 以下的交流电压。

数字式万用表的交流电压挡输入阻抗较高,对被测电路影响小,但它同样存在测量频率范围小的缺点。例如 DT-830 型数字万用表交流电压挡的输入阻抗为 $10\text{ M}\Omega$,测量交流电压频率范围为 $40 \sim 500\text{ Hz}$ 正弦波。

晶体管毫伏表(又称交流毫伏表)是实验室中常用的一种模拟式电子电压表,它是将被测信号经放大、检波变换成直流电压,再由微安表头指针指示出被测电压的大小。这类电压表输入阻抗高、量程范围广、频率范围宽。例如 DA-16 型晶体管毫伏表测量电压范围 $100\text{ }\mu\text{V} \sim 300\text{ V}$,频率范围 $20\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$,输入电阻约 $1.5\text{ M}\Omega$,输入电容约 $50 \sim 70\text{ pF}$ 。一般模拟式电子电压表只能测量电路中各点对地的交流电压,不能直接测量任意两点间的电压,因为它的一端为被测信号输入端,而其金属机壳为接地端。需要注意的是这类表的表盘刻度都是按正弦波的有效值刻度的,所以当测量正弦波形的电压时,可直接在表盘上读取电压的有效值,但若测量非正弦电压,就不能直接读数。

② 示波器测交流电压:用示波器测交流电压较之用电压表测量具有下述优点:速度快、能测各种波形的电压、能测瞬时电压、能同时测直流和交流电压。但示波器的误差较大,一般为 $5\% \sim 10\%$ 。

测量时将示波器的微调旋钮置校正位置,输入耦合开关置 AC 挡,将待测信号送至垂直输入端,则根据屏幕上出现的波形即可算出被测电压的幅值。

$$\text{被测电压的幅值} = \text{通道灵敏度 (V/div)} \times \text{时基线到波形最大值的垂直距离 (div)}$$

1.3.2 时间、频率和相位的测量

1. 时间的测量

时间的测量在科学技术各个领域都十分重要。时间的含义包括时刻和时间间隔。时间的测试可用具有时间测试功能的数字频率计或示波器来进行。本小节介绍用示波器测量的方法。

(1) 时间间隔(周期)的测量

测量前应对示波器的扫描速度进行校准,将扫描微调置于校准位置,再用示波器本身的校准信号进行校准,检查扫描速度 t/div 开关标称值是否准确。

输入被测信号后,将波形移至屏幕中央,调节 x 轴扫描速度,使波形幅度和显示的周期易于测试读出,然后在稳定的波形上选定可以代表周期的两点,如图 1.9 所示,读取 x 轴方向两点之间的格数 n ,则周期 T 为

$$T = n(\text{div}) \times \text{扫描速度}(t/\text{div})$$

为减少读数误差,提高测量准确度,可用多周期法进行测量,即读出数个周期的时间间隔,然后再除以周期数即可,如图 1.9(c) 所示。

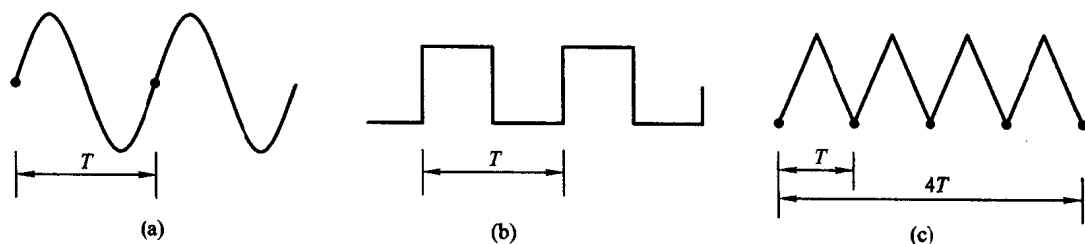


图 1.9 测量周期

(2) 脉冲前后沿时间的测量

调节 y 轴通道灵敏度,使脉冲幅度达到屏幕满刻度,再调节扫描速度(扫描微调置校准位置),使脉冲前后沿展开,如图 1.10 所示,以最大幅度 U_m 的 10% 与 90% 两位置为测试点,由相应 x 轴方向的距离和此时扫速开关(t/div)的挡级,即可计算出脉冲波形的前沿时间 t_r 和后沿时间 t_f 。

(3) 脉冲宽度的测量

将扫描微调置校准位置,在图 1.10 中,由脉冲前沿和后沿的 $0.5U_m$ 处所对应的 x 轴方向的距离 D ,就可计算出被测脉冲波形的宽度 t_m 。

$$t_m = \text{扫描速度}(t/\text{div}) \times D(\text{div})$$

2. 频率的测量

频率是指电信号每秒钟重复变化的次数,可采用示波器和数字频率计来测量。

(1) 用示波器测量频率

由于信号的频率与周期是倒数关系,所以可用前面介绍的方法,先测得信号的周期,再求得频率。这种方法方便,但精度不太高,常用作频率的粗略测量。

(2) 计数法测量频率

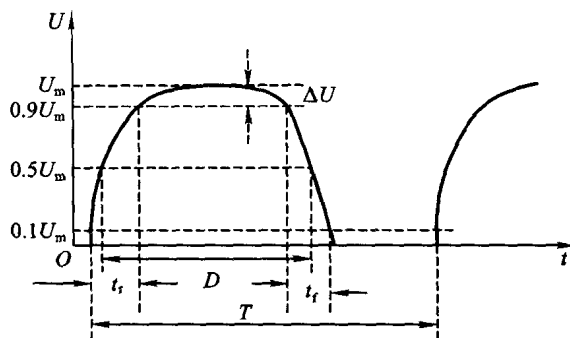


图 1.10 脉冲波形

计数法的原理是在某个已知标准时间间隔 T_s 内,测出被测信号重复出现的次数 N ,则频率 $f = N/T_s$ 。目前广泛采用的数字频率计,就是按此原理设计的。

数字频率计是用石英晶体振荡器产生高稳定的振荡信号,经分频后产生准确的时间间隔 T_s ,用 T_s 作为门控信号去控制主门的开启时间。开始测量时,先将计数器置零,被测信号经放大整形后,变换成方波脉冲,在主门开启时间 T_s 内通过主门,由计数器对通过主门的方波脉冲计数,直到门控信号结束,主门关闭,停止计数。若在时间间隔 T_s 内计数值为 N ,则被测信号频率为 $f = N/T_s$,最后由译码显示电路将测量结果显示出来。

3. 相位的测量

相位的测量实际上是指两个同频率的正弦信号之间的相位差测量。

相位差的测量方法很多,用示波器测量相位差较方便,但准确度较低;用数字相位计测量直观又准确。本文介绍两种常用的示波测量方法。

(1) 双踪示波法

利用双踪示波器的双踪显示特点,以图 1.11(a) 中的被测电路为例,按图 1.11(a) 所示电路接线,就可以在屏幕上直接显示两个同频率不同相位的正弦信号波形,对这两个波形进行比较,即可求得相位差。

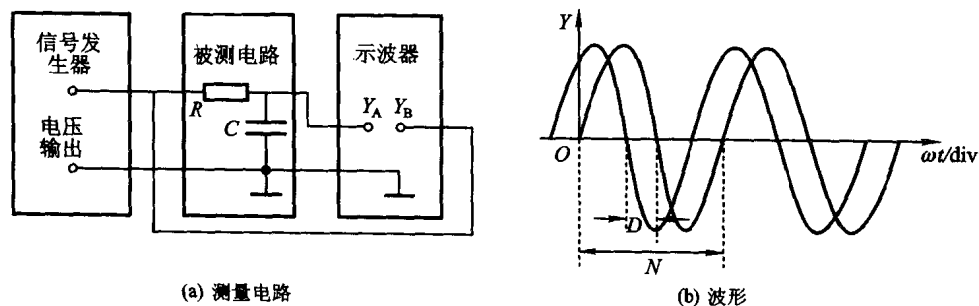


图 1.11 相位差测量电路及波形

测量时示波器置双踪显示方式,同步触发源信号要选择两个被测信号之一,最好选其中幅度较大的信号,调节有关旋钮,使屏幕上显示两个大小适中的稳定波形,如图 1.11(b) 所示。读出